

PAT-NO:

JP408155670A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 08155670 A

TITLE: LASER BEAM MACHINE AND ITS MACHINING METHOD

PUBN-DATE: June 18, 1996

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

GOTO, YOSHITAKA

OOHARA, ATSUSHI

NAGAKUBO, MASAO

IDOGAKI, KOJI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

NIPPONDENSO CO LTD

N/A

APPL-NO: JP06300769

APPL-DATE: December 5, 1994

INT-CL (IPC): B23K026/16, B23K026/00, B23K026/00, B23K026/12, H01L021/302

ABSTRACT:

PURPOSE: To provide a laser beam machine and a laser beam machining method capable of efficiently discharge machining chips from fine holes and grooves, and excellently machining the smaller and deeper holes and fine grooves.

CONSTITUTION: In a laser beam machine, a work in a vacuum tank 1 is irradiated with the pulse-shaped laser beam to be machined. A base electrode 2 and an opposite electrode 3 are arranged in the vicinity of the work to generate the electric field, and an electric field generating power source 11 is connected to each electrode. The quantity of the electric charge of the particles emitted from the work during the irradiation of the laser beam is detected by the current value to be detected by current detectors 12, 13 provided on the power-supply line of the base electrode 2 or the opposite electrode 3. The electric field generating power source 11 alternately generates the electric field in the vicinity of the work according to the quantity of the positive or negative electric charge of the detected emitted particles.

5-12  
" 05000012 "

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-155670

(43) 公開日 平成8年(1996)6月18日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

B 2 3 K 26/16

26/00

D

3 3 0

26/12

H 0 1 L 21/ 302

Z

審査請求 未請求 請求項の数5 OL (全 5 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-300769

(22) 出願日 平成6年(1994)12月5日

(71) 出願人 000004260

日本電装株式会社

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72) 発明者 後藤 吉孝

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 日本電装株式会社内

(72) 発明者 大原 淳士

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 日本電装株式会社内

(72) 発明者 永久保 雅夫

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 日本電装株式会社内

(74) 代理人 弁理士 飯田 堅太郎

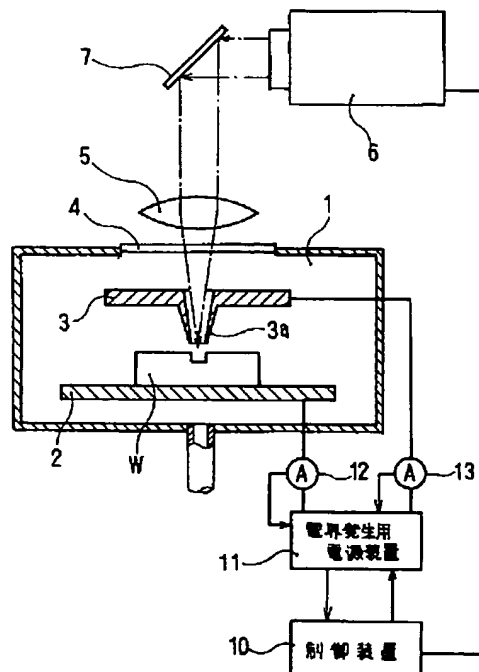
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ加工機とその加工方法

(57) 【要約】

【目的】加工残渣を微細孔や微細溝から効率良く排出し、より細く深い微細孔や微細溝を良好に加工することができるレーザ加工機と加工方法を提供する。

【構成】真空槽1内の被加工物にパルス状のレーザ光を照射して被加工物を加工するレーザ加工機である。基板電極2と対向電極3が被加工物近傍に電界を発生させるために配設され、両電極に電界発生用電源装置11が接続される。基板電極2又は対向電極3の電源線に設けられた電流検出器が検出する電流値により、レーザ光の照射時に被加工物から放出される放出粒子の電荷量を検出する。そして、電界発生用電源装置11は、検出された放出粒子の電荷量の正負に応じて被加工物近傍に電界を交番・発生させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 真空槽内の被加工物にパルス状のレーザー光を照射して被加工物を加工するレーザー加工機において、該被加工物近傍に電界を発生させるために配設された電極と、該電極に電界発生用の電源を供給する電源装置と、レーザー光の照射時に被加工物から放出される放出粒子の電荷量を検出する検出手段と、該検出手段により検出された放出粒子の電荷量の正負に

応じて前記電源装置を制御し該被加工物近傍に電界を交番させて発生させる電界制御手段と、を備えたことを特徴とするレーザー加工機。

【請求項2】 前記検出手段は前記電極に流れる電流を検出することにより前記電荷量を検出する請求項1記載のレーザー加工機。

【請求項3】 前記検出手段は、被加工物の上方に配置された電荷検出用部材に流れる電流を検出することにより、前記電荷量を検出する請求項1記載のレーザー加工機。

【請求項4】 真空槽内の被加工物にパルス状のレーザー光を照射して被加工物を加工するレーザー加工方法において、該被加工物近傍に電界が印加され、レーザー光の照射によって該被加工物から放出される放出粒子の電荷量を検出し、該放出粒子の電荷量の正負に応じて該電界を交番させることを特徴とするレーザー加工方法。

【請求項5】 前記放出粒子の電荷量が電界印加用の電極に流れる電流により検出される請求項4記載のレーザー加工方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、真空槽内の被加工物にレーザー光を照射し、被加工物近傍に電界をかけながら、微細孔や微細溝の加工を良好に行うレーザー加工機及びその加工方法に関する。

【0002】

【従来の技術】被加工物にレーザー光を照射し、その照射箇所を加熱、溶融、蒸発させて加工を行うレーザー加工が広く実施されている。

【0003】しかし、例えば内径10 $\mu$ m以下の微細孔や微細溝をレーザー光の照射により加工する場合、加工残渣が微細孔や微細溝内に残留しやすく、細く深い微細孔等は良好に穿設することができにくい問題があった。

【0004】このため、本発明者らは、特開平6-310473号公報により、レーザー光の入射方向に電界を印加させることによって、被加工物を帯電させ、微細孔内の加工残渣にクーロン力を生じさせて、微細孔から加工残渣を排出させるレーザー加工装置を提案した。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】このレーザー加工装置は、加工残渣を微細孔等からある程度効率良く排出することができるものの、極めて細く深い微細孔等を加工する場合、残渣の排出が難しく加工限界が生じていた。このため、さらなる研究実験を行った結果、電界の印加する方向は残渣の電荷を排出する方向と一致させる必要があるが、レーザー光の照射時、照射面の電荷が反転すると考えられる現象が見られた。

【0006】即ち、上記公報で提案したレーザー加工機では、レーザー光の照射時に被加工物に生じる正電荷イオンを加工孔から引き出すために、被加工物に対し対向電極を負とする電界を発生させた。

【0007】しかし、実験の結果、パルス状のレーザー光を被加工物に照射して微細孔を加工する場合、図2に示すように、レーザー光の照射時、被照射面から先ず負電荷の電子が放出され、その後、正電荷のイオンが放出されることが判明した。

【0008】このため、被加工物近傍に一定の電界を印加した場合には、負電荷の電子、或は正電荷のイオンのどちらかの電荷が放出されにくくなり、微細孔からの残渣の放出が良好に行われにくく、加工可能な微細孔や微細溝の径や深さには少なからず限界が生じていた。

【0009】本発明は、上記の点に鑑みてなされたもので、加工残渣を微細孔や微細溝から効率良く排出し、より細く深い微細孔や微細溝を良好に加工することができるレーザー加工機と加工方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明のレーザー加工機は、真空槽内の被加工物にパルス状のレーザー光を照射して被加工物を加工するレーザー加工機において、被加工物近傍に電界を発生させるために配設された電極と、電極に電界発生用の電源を供給する電源装置と、レーザー光の照射時に被加工物から放出される放出粒子の電荷量を検出する検出手段と、検出手段により検出された放出粒子の電荷量の正負に応じて前記電源装置を制御し被加工物近傍に電界を交番させて発生させる電界制御手段と、を備えたことを特徴とする。

【0011】ここで、検出手段は、電極に流れる電流を検出することにより電荷量を検出し、或は、被加工物の上方に配置された電荷検出用部材に流れる電流を検出することにより電荷量を検出することができる。

【0012】また、本発明のレーザー加工方法は、真空槽内の被加工物にパルス状のレーザー光を照射して被加工物を加工するレーザー加工方法において、被加工物近傍に電界が印加され、レーザー光の照射によって被加工物から放出される放出粒子の電荷量を検出し、放出粒子の電荷量の正負に応じて電界を交番させることを特徴とする。

【0013】ここで、放出粒子の電荷量は、電界印加用の電極に流れる電流により検出することができる。

【0014】

【作用・効果】このような構成のレーザ加工機及びレーザ加工方法では、パルス状のレーザ光を真空槽内の被加工物に照射すると共に、被加工物近傍に電界を発生させる。このとき、レーザ光の照射によって被加工物から放出される放出粒子の電荷量を検出し、電界は、放出粒子の電荷量の正負に応じて交番するように発生させる。

【0015】つまり、例えば、被加工物から電子が放出される間は電子が被加工物から引き出される方向に電界を発生させ、正電荷イオンが放出される間は正電荷イオンが引き出される方向に電界を発生させる。

【0016】このため、レーザ光の照射時、被加工物から先ず負電荷の電子が放出され、その後、正電荷のイオンが放出されるが、このように交番・発生する電界によって、電子及び正電荷イオンの粒子つまり加工残渣を外側に引き出し、加工する微細孔や微細溝からそれらの粒子を効率良く排出することができる。したがって、より細くより深い微細孔や微細溝を高い効率で加工することができる。

【0017】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面に基づいて説明する。

【0018】図1はレーザ加工機の概略構成図を示している。1は加工を行う真空槽であり、槽内は図示しない真空ポンプに接続され、所定の真空度まで減圧される。真空槽1内には、被加工物近傍に電界を発生するための基板電極2と対向電極3が配設され、基板電極2上に被加工物Wが載置される。

【0019】対向電極3は基板電極2の上方に配設される。対向電極3は中央に下方の被加工物側に突出した突出孔部3aを有し、この突出孔部3aを通してレーザ光が下方の被加工物上に照射される。

【0020】真空槽1の上部には透光窓4が取付けられ、透光窓4の上方に対向レンズ5が配置される。対向レンズ5は、レーザ発振器6から照射されたレーザ光をミラー7を介して受け、被加工物W上で集光させる。レーザ発振器6は、例えばArFガスを使用するエキシマレーザ装置の場合、波長193nmのレーザ光を出力100～200mJで発振・出力する。

【0021】10はレーザ発振器6の制御装置であり、所定幅のレーザパルスを一時間間隔で発振させるように、レーザ発振器6を制御する。11は、基板電極2と対向電極3間に電界を発生させるために両電極2、3間に電圧を印加する電界発生用電源装置である。

【0022】この電界発生用電源装置11は、電源を供給する電源部とその電位を反転させるように制御する制御部とからなり、レーザパルスが照射される僅か前に基板電極2と対向電極3間に対向電極3を正とする電圧を印加して、電界の発生を開始し、レーザ光の照射により

被加工物から放出される電子が正電荷イオンになるタイミング、つまり電荷が負から正になるタイミングに同期して対向電極側を負とする電圧に切り換え、電界を交番させながら印加するように構成される。

【0023】即ち、被加工物Wが導体の場合、レーザ光の照射により被加工物Wは電荷を保存することから電子がそこに流れ込み、これによって電流が流れ出すため、基板電極2と電界発生用電源装置11間の電源線に電流検出器12を接続し、基板電極2から流れ出す電流を検出する。そして、この基板電極2からの電流がゼロになった時点が電子から正電荷イオンの放出に変わり電荷が負から正になる時であり、この時点で電界を反転させる。

【0024】一方、被加工物Wが不導体或は半導体の場合、レーザ光が被加工物Wに照射されると、先ず電子が対向電極3に向けて放出されるため、対向電極3と電界印加用電源装置11間の電源線に電流検出器13を接続し、この電子によって対向電極3に流れる電流を電流検出器13により検出する。そして、この対向電極3からの電流がゼロになった時点が電子から正電荷イオンの放出に変わり電荷が負から正になる時であり、この時点で電界を反転させる。

【0025】なお、図3に示すように、対向電極3の上方に電界検出用部材としてマイクロチャネルプレート8とその電極9を配置し、このマイクロチャネルプレート8に電流検出器14を接続し、電極9にマイクロチャネルプレート用高圧電源を接続し、被加工物Wから放出される電子或はイオンの電荷を、増幅して電流検出器14の電流検出により検出することもできる。

【0026】次に、上記構成のレーザ加工機の動作を説明する。

【0027】レーザ発振器6は制御装置10から出力されるトリガ信号に応じて発振し、図2に示すように、所定幅のパルスレーザ光を一定時間間隔で出力する。このとき、電界発生用電源装置11はパルスレーザ光が出力される時点の少し前から対向電極3と基板電極2間に正の電圧（対向電極側に高い電圧）の印加を開始し、両電極間つまり被加工物近傍に正の電界を生じさせる。

【0028】パルス状のレーザ光が、ミラー7と対向レンズ5を通して集光され、被加工物Wに照射されると、被加工物Wが導体の場合、レーザ光の照射により被加工物Wは電荷を保存するため電子がそこに流れ込み、これによって電流が被加工物、基板電極2へと流れ出すため、基板電極2と電界発生用電源装置11間の電流検出器12によりその電流が検出される。

【0029】また、被加工物Wが不導体或は半導体の場合、レーザ光の照射により、電子が対向電極3に向けて放出されるため、対向電極3と電界印加用電源装置11間の電源線に接続した電流検出器13、又は図3のようなマイクロチャネルプレート8に接続された電流検出器14によりその電流が検出される。

5

【0030】そして、被加工物Wからの電子の放出は、その後すぐに正電荷イオンの放出に変わるが、この電子から正電荷イオンへの変化時点が、電流検出器12によって検出される電流がゼロになった時点に対応して検出され、電界発生用電源装置11は、図2に示すように、この時点で電界を反転、つまり基板電極2に対し対向電極3の電位を負にして電界を反転させる。この負の電界の発生は、次のレーザーパルスが照射される時点の少し前まで継続される。

【0031】このように、パルスレーザーの照射の開始時点で被加工物Wから電子が放出される間は、対向電極側に正となる電界を発生させるため、負の電荷を持つ電子が被加工物Wから効率良く引き出され、その後、被加工物Wから正電荷イオンが放出される間は、対向電極側が負となる電界を発生させるため、正電荷イオンを被加工物Wから効率良く引き出すことができる。

【0032】したがって、微細孔や微細溝の加工においても、加工残渣が孔や溝から効率良く排出され、効率良く微細孔や微細溝の加工を行うことができると共に、よりアスペクト比の高い、つまりより細く深い微細孔等を加工することできる。

【0033】なお、レーザー光の照射時、被加工物Wから放出された電子が対向電極3或はマイクロチャネルアレ

6

ート8に到達するまでの時間（非常に短い時間）が、電界を反転させるタイミングを僅かに遅らせることが考えられるが、この遅れは検出電流のピーク発生時（負電荷のピーク時）等を検出した時点から、この遅れを見込んで算出すれば、遅れを補正することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例を示すレーザー加工機の概略構成図である。

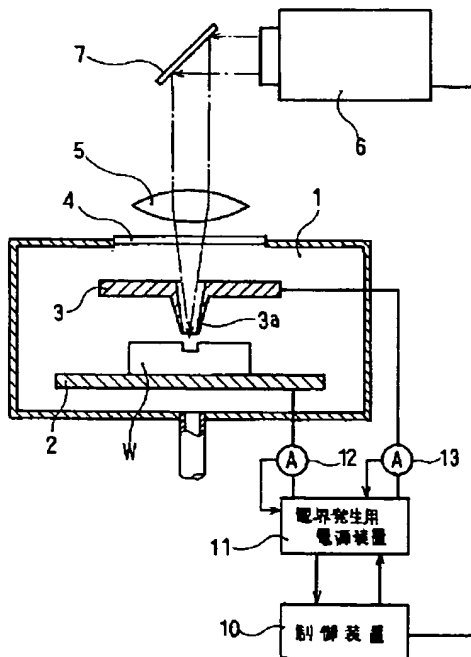
【図2】被加工物からの放出電荷量、レーザー光の強度、及び対向電極の電位の変化を示すタイミングチャートである。

【図3】他の実施例のレーザー加工機の要部断面図である。

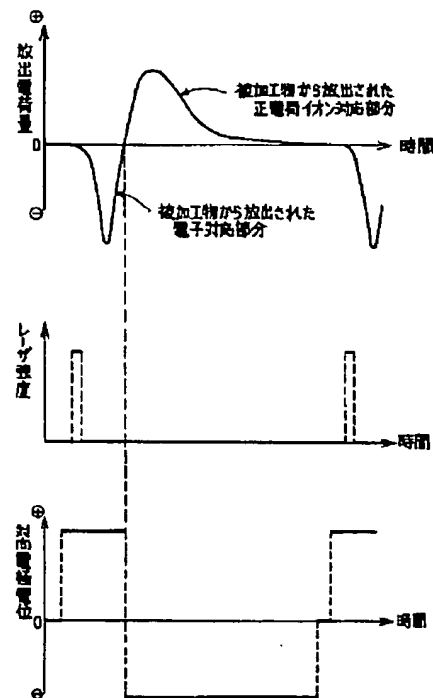
【符号の説明】

- 1－真空槽、
- 2－基板電極、
- 3－対向電極、
- 6－レーザー発振器、
- 10－制御装置、
- 11－電界発生用電源装置、
- 12、13、14－電流検出器、
- W－被加工物。

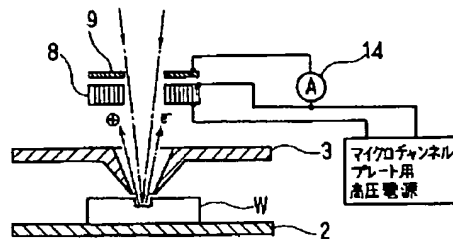
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.<sup>6</sup>  
H 0 1 L 21/302

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

(72)発明者 井戸垣 孝治  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 日本電  
装株式会社内

## \* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the laser beam machine which performs processing of micropore or a detailed slot good, and its processing approach, irradiating a laser beam at the workpiece in a vacuum tub, and applying electric field near the workpiece.

[0002]

[Description of the Prior Art] A laser beam is irradiated at a workpiece and heating, melting, and laser beam machining that processes it by making it evaporate are widely carried out in the exposure part.

[0003] However, when micropore and a detailed slot with a bore of 10 micrometers or less were processed by the exposure of a laser beam, for example, processing residue tended to remain to micropore or detailed Mizouchi, and thin deep micropore etc. had the problem which can be hard to drill good.

[0004] For this reason, by JP,6-310473,A, by making electric field impress in the direction of incidence of a laser beam, this invention persons electrified the workpiece, made the processing residue in micropore produce Coulomb force, and proposed the laser-beam-machining equipment which makes processing residue discharge from micropore.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] When the very thin deep micropore of what can discharge processing residue somewhat efficiently from micropore etc. was processed, discharge of residue is difficult and the working limit had produced this laser-beam-machining equipment. For this reason, although the direction which electric field impress needed to be made in agreement with the direction which discharges the charge of residue as a result of conducting the further research experiment, the phenomenon considered that the charge of an exposure side is reversed was seen at the time of the exposure of a laser beam.

[0006] That is, in the laser beam machine proposed in the above-mentioned official report, in order to pull out the positive charge ion produced in a workpiece at the time of the exposure of a laser beam from a processing hole, the electric field which make a counterelectrode negative to a workpiece were generated.

[0007] However, when a pulse-like laser beam was irradiated at a workpiece and micropore was processed as a result of an experiment, as shown in drawing 2, it became clear at the time of the exposure of a laser beam that the electron of a negative charge was first emitted from an irradiated plane, and the ion of positive charge was emitted after that.

[0008] For this reason, when fixed electric field were impressed near the workpiece, one of the charges of the electron of a negative charge or the ion of positive charge became is hard to be emitted, emission of the residue from micropore was hard to be performed good, and the limitation was generated not a little in the processible path and the processible depth of micropore or a detailed slot.

[0009] This invention was made in view of the above-mentioned point, discharges processing residue efficiently from micropore or a detailed slot, and aims at offering the laser beam machine into which

thinner and deep micropore and a detailed slot are processible good, and the processing approach.  
[0010]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned purpose, the laser beam machine of this invention In the laser beam machine which irradiates a pulse-like laser beam and processes a workpiece into the workpiece in a vacuum tub The electrode arranged in order to generate electric field near the workpiece, and the power unit which supplies the power source for electric-field generating to an electrode, It is characterized by having the electric-field control means which controls said power unit according to the positive/negative of the amount of charges of the emitted particle detected by detection means to detect the amount of charges of the emitted particle emitted from a workpiece at the time of the exposure of a laser beam, and the detection means, is made to carry out alternation of the electric field near the workpiece, and is generated.

[0011] Here, a detection means can detect the amount of charges by detecting the current which flows to an electrode by detecting the current which flows to the member for charge detection which detected the amount of charges or has been arranged above a workpiece.

[0012] Moreover, in the laser-beam-machining approach of irradiating a pulse-like laser beam and processing a workpiece into the workpiece in a vacuum tub, electric field are impressed near the workpiece, and the laser-beam-machining approach of this invention detects the amount of charges of the emitted particle emitted by the exposure of a laser beam from a workpiece, and is characterized by carrying out alternation of the electric field according to the positive/negative of the amount of charges of an emitted particle.

[0013] Here, the amount of charges of an emitted particle is detectable with the current which flows to the electrode for electric-field impression.

[0014]

[Function and Effect] By such a laser beam machine and the laser-beam-machining approach of a configuration, while irradiating a pulse-like laser beam at the workpiece in a vacuum tub, electric field are generated near the workpiece. At this time, the amount of charges of the emitted particle emitted by the exposure of a laser beam from a workpiece is detected, and electric field are generated so that alternation may be carried out according to the positive/negative of the amount of charges of an emitted particle.

[0015] While getting it blocked, for example, emitting an electron from a workpiece, electric field are generated in the direction in which an electron is pulled out from a workpiece, and while positive charge ion is emitted, electric field are generated in the direction in which positive charge ion is pulled out.

[0016] For this reason, although the electron of a negative charge is first emitted from a workpiece and the ion of positive charge is emitted after that at the time of the exposure of a laser beam, in this way, by alternation and the electric field to generate, it can pull out outside, the particle, i.e., the processing residue, of an electron and positive charge ion, and those particles can be efficiently discharged from the micropore to process or a detailed slot. Therefore, thinner more deep micropore and detailed slot can be processed at high effectiveness, and the hole and slot which are a higher aspect ratio can be processed.

[0017]

[Example] Hereafter, the example of this invention is explained based on a drawing.

[0018] Drawing 1 shows the outline block diagram of a laser beam machine. 1 is a vacuum tub which processes it, it connects with the vacuum pump to illustrate and the inside of a tub is decompressed to a predetermined degree of vacuum. In the vacuum tub 1, the substrate electrode 2 and counterelectrode 3 for generating electric field near the workpiece are arranged, and Workpiece W is laid on the substrate electrode 2.

[0019] A counterelectrode 3 is arranged above the substrate electrode 2. A counterelectrode 3 has protrusion pore 3a projected in the center at the downward workpiece side, and a laser beam is irradiated on a downward workpiece through this protrusion pore 3a.

[0020] A translucent window 4 is attached in the upper part of the vacuum tub 1, and an objective lens 5 is arranged above a translucent window 4. An objective lens 5 receives the laser beam irradiated from the laser oscillation machine 6 through a mirror 7, and is made to condense it on Workpiece W. In the



case of the excimer laser equipment which uses for example, ArF gas, the laser oscillation machine 6 oscillates and outputs a laser beam with a wavelength of 193nm by output 100-200mJ.

[0021] 10 is the control unit of the laser oscillation machine 6, and controls the laser oscillation machine 6 to oscillate the laser pulse of predetermined width of face with a fixed time interval. 11 is a power unit for electric-field generating which impresses two electrodes 2 in order to generate electric field between the substrate electrode 2 and a counterelectrode 3, and impresses an electrical potential difference among three.

[0022] Before [ small ] this power unit 11 for electric-field generating consists of a control section controlled to reverse the power supply section which supplies a power source, and its potential and a laser pulse is irradiated, the electrical potential difference which makes a counterelectrode 3 forward is impressed between the substrate electrode 2 and a counterelectrode 3. Generating of electric field is started, and it is constituted so that it may impress switching to the electrical potential difference which makes a counterelectrode side negative synchronizing with the timing which changes the electron emitted by the exposure of a laser beam from a workpiece to positive charge ion, i.e., the timing which a charge just changes from negative, and carrying out alternation of the electric field.

[0023] That is, since Workpiece W saves a charge by the exposure of a laser beam, an electron flows in there and a current flows out by this when Workpiece W is a conductor, the current detector 12 is connected to the power-source line between the substrate electrode 2 and the power unit 11 for electric-field generating, and the current which flows out of the substrate electrode 2 is detected. And it is a time of the time of the current from this substrate electrode 2 becoming zero changing to emission of positive charge ion from an electron, and a charge just changing from negative, and electric field are reversed at this time.

[0024] On the other hand, since an electron will be first emitted towards a counterelectrode 3 if a laser beam is irradiated by Workpiece W when Workpiece W is a nonconductor or a semi-conductor, the current detector 13 is connected to the power-source line between a counterelectrode 3 and the power unit 11 for electric-field impression, and the current detector 13 detects the current which flows to a counterelectrode 3 with this electron. And it is a time of the time of the current from this counterelectrode 3 becoming zero changing to emission of positive charge ion from an electron, and a charge just changing from negative, and electric field are reversed at this time.

[0025] In addition, as shown in drawing 3, a microchannel plate 8 and its electrode 9 are arranged as a member for electric-field detection above a counterelectrode 3, the current detector 14 is connected to this microchannel plate 8, the high voltage power supply for micro channel plates is connected to an electrode 9, the charge of the electron emitted from Workpiece W or ion can be amplified, and current detection of the current detector 14 can also detect it.

[0026] Next, actuation of the laser beam machine of the above-mentioned configuration is explained.

[0027] It oscillates according to the trigger signal outputted from a control unit 10, and the laser oscillation machine 6 outputs the pulse laser light of predetermined width of face with a fixed time interval, as shown in drawing 2. At this time, when pulse laser light is outputted, impression of a forward electrical potential difference (electrical potential difference high to a counterelectrode side) is started between a counterelectrode 3 and the substrate electrode 2 from before for a while, and the power unit 11 for electric-field generating produces forward electric field between two electrodes (i.e., workpiece near).

[0028] Since an electron will flow in there since Workpiece W saves a charge by the exposure of a laser beam and a current will flow into a workpiece and the substrate electrode 2 by this when Workpiece W is a conductor if it is condensed through a mirror 7 and an objective lens 5 and a pulse-like laser beam is irradiated by Workpiece W, the current is detected by the current detector 12 between the substrate electrode 2 and the power unit 11 for electric-field generating.

[0029] Moreover, since an electron is emitted by the exposure of a laser beam towards a counterelectrode 3 when Workpiece W is a nonconductor or a semi-conductor, the current is detected by the current detector 13 linked to the power-source line between a counterelectrode 3 and the power unit 11 for electric-field impression, or the current detector 14 connected to a microchannel plate 8 like

drawing 3 .

[0030] And potential of a counterelectrode 3 is made [ as opposed to / as it is detected corresponding to the time of the current with which the change time to the positive charge ion from this electron is detected by the current detector 12 although emission of the electron from Workpiece W changes to emission of positive charge ion immediately after that becoming zero and the power unit 11 for electric-field generating is shown in drawing 2 / the reversal, i.e., substrate, electrode 2 ] negative for electric field at this time, and electric field are reversed. It is continued at the time of the following laser pulse being irradiated to generating of this negative electric field until very recently.

[0031] Thus, since a counterelectrode side generates the electric field used as negative while an electron with negative charge is efficiently pulled out from Workpiece W and positive charge ion is emitted from Workpiece W after that, in order to generate the electric field which serve as forward at a counterelectrode side, while an electron is emitted at the initiation time of an exposure of a pulse laser from Workpiece W, positive charge ion can be efficiently pulled out from Workpiece W.

[0032] Therefore, also in processing of micropore or a detailed slot, while processing residue is efficiently discharged from a hole or a slot and can perform processing of micropore or a detailed slot efficiently, thinner deep micropore etc. is processed and the thing of it can be carried out more highly [ an aspect ratio ] that is,

[0033] In addition, although it is possible that time amount (very short time amount) until the electron emitted from Workpiece W reaches a counterelectrode 3 or a microchannel plate 8 at the time of the exposure of a laser beam delays slightly the timing which reverses electric field, this delay can amend delay, if this delay is expected and computed from the time of detecting the time of peak generating of a detection current (peak period of a negative charge) etc.

---

[Translation done.]